

Va

SILLANRAKENNUKSEN SUUNNITTELUOHJE N:O II
KUMILEVYLAAKERIEN SUUNNITTELU

TIE - JA VESIRAKENNUSHALLITUS
SILTAOSASTO
TVH 2.044

HELSINKI 1975

08

TIE

SILLAN



TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS
Siltaosasto

SILLANRAKENNUKSEN SUUNNITTELUOHJE N:O 11/9.2. 1975

KUMILEVYLAAKERIEN SUUNNITTELU

SISÄLLYSLUETTELO

1. YLEISTÄ
2. MERKINNÄT
3. KUMILEVYLAAKERIN TOIMINTA JA RAKENNE
4. SUUNNITELMA JA LASKELMAT
5. VARMUUSTARKASTELU
6. LASKENNASSA KÄYTETTÄVÄT ARVOT
7. MUITA OHJEITA

KIRJALLISUUTTA

LIITE 1. AINEIDEN LAATU

LIITE 2. VAKIOKOKOISET KUMILEVYLAAKERIT

LIITE 3. LASKUESIMERKKI

1. YLEISTÄ

- 1.1 Tämä ohje koskee siltojen maa- ja välituilla sekä päällysrakenteen nivelkohdissa tai siltojen muissa vastaavissa kohdissa, pääasiassa pystysuoran kuorman vastaanottamiseksi käytettäviä suorakaiteen muotoisia kumilevylaakereita. Käytettäessä kumilevylaakereita muissa sillan kohdissa, kuten esimerkiksi kansirakenteen ja maatuen välisessä pystysaumassa, on tätä ohjetta noudatettava soveltaen.
- 1.2 Tässä ohjeessa esitetyt vaatimukset täyttäviä kumilevylaakereita voidaan käyttää koko maassa. Kuitenkin laakerien toimintakyvyn säilyttämiseksi Oulun ja Kajaanin kautta vedetyn suoran pohjoispuolella ei tule käyttää sellaista kumiainetta, jonka liukumodulin kasvu on suurempi kuin 50 % kumin lämpötilan aletessa + 20°C:sta - 40°C:een.
- 1.3 Ohje perustuu kirjallisuusaineistoon, jota on täydennetty Suomen olosuhteet huomioon ottavilla tutkimus- ja koetuloksilla

2. MERKINNÄT

a, b	laakerin sivumitat ($a \leq b$)
d	nettokorkeus ($d = nt + 2 t_u$)
h	kokonaiskorkeus ($h = d + (n+1) t_s$)
k_V, k'_V	sivusuhteesta a/b riippuvia taulukossa 3 an-
k_p, k'_p, k_w	nettuja kertoimia
k_M, k'_M	
n	sisempien kumilevyjen lukumäärä
t	sisempien kumilevyjen paksuus
t_u	uloimpien kumilevyjen paksuus
t_s	teräslevyjen paksuus
$u (u')$	laakerin yläpinnan siirtymä alapintaan nähden sivun a (b) suunnassa
w	laakerin keskimääräinen kokoonpuristuma pysty- suunnassa
G	kumiaineen liukumoduli
$H (H')$	vaakavoima sivun a (b) suunnassa
H_{res}	resultoiva vaakavoima
$M (M')$	kulmakiertymän φ (φ') aiheuttama momentti
V	pystykuorma
γ	liukukulma kumissa
μ	kitkakerroin
$\varphi (\varphi')$	laakerin yläpinnan kiertymä alapintaan nähden kiertymisen tapahtuessa sivun b (a) suuntaisen akselin ympäri
σ	keskimääräinen puristusjännitys laakerin alla
$\tau (\tau')$	kumin leikkausjännitys sivun a (b) suunnassa

3. KUMILEVYLAAKERIN TOIMINTA JA RAKENNE

- 3.1 Kumilevylaakerin on toimittava moitteettomasti niissä olosuhteissa, joiden alaiseksi se rakenteessa joutuu. Kumilevylaakerin avulla voidaan
- siirtää pystykuormia rakenneosasta toiseen
 - tehdä mahdolliseksi toisiinsa liittyvien rakenneosien keskinäiset liikkeet
 - siirtää haluttu tai tietty osa vaakavoimia rakenneosasta toiseen
- 3.2 Kumilevylaakerin tulee kestää pitkään ilmaston vaikutusta sekä säilyttää toimintakykynsä vielä -40°C lämpötilassa.
- 3.3 Kumilevylaakeri voi vaakasuoriin siirtymiin nähden olla kiinteä tai liikkuva. Kiinteä laakeri on aikaansaatu estämällä laakerin ylä- ja alapinnan keskinäinen liike vaakasuunnassa.
- 3.4 Kumilevylaakeri muodostuu kumilevyistä ja niiden välissä olevista tasapaksuista teräslevyistä. Kumilevyt kiinnittyvät teräslevyihin vulkanoimalla. Laakerien sivupintoihin on lisäksi vulkanoitu vähintään 2 mm paksu kumikerros. Ruostumattomia teräslevyjä käytettäessä voi sivupintojen kumikerros myös puuttua.
- 3.5 Kumilevylaakeriin käytettävän kumiaineen tulee täyttää liitteessä 1 mainitut laatuvaatimukset. Uloimpien kumilevyjen paksuuden on oltava vähintään 2,5 mm. Sisempien kumilevyjen tulee yleensä olla keskenään samanpaksuisia ja paksuudeltaan 5...12 mm. Laakerien kumikerrosten yhteenlasketun paksuuden tulee olla vähintään $1/10$ ja enintään $1/5$ laakerin pienemmästä sivumitasta.
- 3.6 Teräslevyjen on oltava vähintään laatua Fe 37 B SFS 200 ja paksuudeltaan vähintään 2 mm. Levyjen särmien on oltava pyöristettyjä kumin irtaantumisen välttämiseksi.

4. SUUNNITELMA JA LASKELMAT

- 4.1 Siltasuunnitelman piirustuksissa esitetään tiedot, jotka riittävät yksikäsitteisesti määrittelemään käytettäväksi aiotun laakerin. Kumilevylaakerista esitetään kyseessä olevan tuen piirustuksessa laakerin koko, kumiaine, laakeripiirustuksen numero ja kyseistä kokoa olevien laakerien lukumäärä, esim. Kumilevylaakeri 200*400*41, kumiaine 1,0/1,5/60°IRH, piir. n:o....., 3 kpl. Kumiaineen merkinnässä ilmoitetaan liukumodulin arvo $[MN/m^2]$ + 20°C:ssa ja - 40°C:ssa sekä kovuus °IRH kauttaviivoilla toisistaan erotettuina.
- 4.2 On pyrittävä käyttämään TVH:n siltaosaston tyyppipiirustuksen n:o DB/52 mukaisia vakiolaakereita, joista on esitetty luettelo liitteessä 2.
Käytettäessä muita kuin edellä mainittuja TVH:n vakiolaakereita on laakereista esitettävä piirustus, josta käyvät ilmi kaikki laakerin valmistamiseksi tarvittavat tiedot.
- 4.3 Laskelmissa esitetään kullekin laakerille yhteenvetotaulukko laakerin mitoista ja mitoitusarvoista sekä suoritetaan vaaditut varmuustarkastelut. Nämä tarkastelut voi tehdä sitä varten suunnitelluilla lomakkeilla liitteessä 3 esitetyn mallin mukaisesti. Laakeriin liittyvien rakenteiden mitoitusta varten esitetään tarvittaessa myös laakerin kautta siirtyvät tai sen muodonmuutoksista aiheutuvat voimat ja momentit sekä laakerin kokoonpuristuma ja siirtymät.
- 4.4 Tarkasteluja ei tarvitse yleensä suorittaa muuta kuin laakerin sen sivun suunnassa, jossa jännitykset ovat suuremmat. Jos kuitenkin jännitykset ja muodonmuutokset molempien sivujen suunnissa ovat suuria, eikä vaarallisinta suuntaa voida osoittaa, on tarkastelut tehtävä molemmissa suunnissa.
- 4.5 Eri tarkasteluissa on käsiteltävä sellaiset kuormayhdistelmät, jotka ovat vaikutukseltaan määrääviä. Yleensä kuitenkin riittää, että laakeri tutkitaan yhdistelmille, joissa vuorollaan kullakin osakuormalla on ääriarvo. Tutkittavien kuorma-

yhdistelmien lukumäärän vähentämiseksi voidaan usein myös menetellä siten, että tarkastelut suoritetaan yhdistelmillä, jotka on muodostettu edellä mainittujen yhdistelmien osakuormien ääriarvoista. Kokonaisuuden kannalta epätaloudellista ylimitoitusta on kuitenkin vältettävä. Tutkittavien kuormayhdistelmien koostumus tulee esittää.

5. VARMUUSTARKASTELUT

5.1 Laakerin luotettavuuden osoittamiseksi vaaditaan seuraavat tarkastelut:

- Jännitystarkastelu
- Muodonmuutostarkastelu
- Liukuvarmuustarkastelu

Jännitystarkasteluun, jolla osoitetaan, että laakerilla on riittävä varmuus murtoon nähden, kuuluu leikkausjännitystarkastelu ja puristusjännitystarkastelu. Muodonmuutostarkasteluun, jolla osoitetaan, etteivät laakerin muodonmuutokset tule haitallisiksi laakerin toiminnalle, kuuluu siirtymätarkastelu ja kokoonpuristumatarkastelu. Liukuvarmuustarkastelulla osoitetaan, että laakeri pysyy liukumatta paikallaan riittävällä varmuudella.

Laakerissa syntyvät jännitykset ja muodonmuutokset laskeaan tarkasteluissa luvussa 6 esitettyjä kaavoja, kertoimia ja materiaalivakioita käyttäen.

Tässä kappaleessa esitettyjen sallittujen arvojen käyttö edellyttää, että laakeri täyttää tämän ohjeen vaatimukset.

5.2 Leikkausjännitystarkastelu

Leikkausjännitystarkastelussa osoitetaan, ettei kumin suurin leikkausjännitys ylitä sallittua arvoa $3,5 \text{ MN/m}^2$.

5.3 Puristusjännitystarkastelu

Puristusjännitystarkastelussa osoitetaan, ettei keskimääräinen puristusjännitys laakerin alla ylitä taulukossa 1 annettuja arvoja.

TAULUKKO 1. Keskimääräisen puristusjännityksen sallitut arvot.

Laakerin pienempi sivumitta a (mm)	b sall (MN/m ²)
≤ 200	10
250	11
300	12
350	13
≥ 400	14

5.4 Siirtymätarkastelu

Siirtymätarkastelussa osoitetaan, ettei liukukulman tangentti kummassakaan suunnassa ylitä arvoa 0,7. Kun alusrakenteen liikkeet otetaan huomioon, sallitaan kuitenkin arvo 1,0 mutta silloinkaan muiden kuormien yhteisvaikutuksesta syntyvä liukukulman tangentti ei saa ylittää arvoa 0,7.

5.5 Kokoonpuristumatarkastelu

Kokoonpuristumatarkastelussa osoitetaan, ettei laakeri keskimmäisen kolmanneksen alueellaan irtoa alustastaan, ts. ehdon

$$w \leq \frac{a|\varphi| + b|\varphi|}{6} \quad (1)$$

tulee olla voimassa kaikilla kuormayhdistelmillä.

5.6 Liukuvarmuustarkastelu

Vaakavoiman katsotaan siirtyvän päällysrakenteen ja laakerin sekä laakerin ja alusrakenteen välillä kitkan avulla. Jotta riittävä varmuus liukumista vastaan saavutetaan, tulee resultaivan horisontaalivoiman H_{res} , joka aiheutuu sekä välittömästi laakeriin kohdistuvista

vaakavoimista, että laakerin ylä- ja alapinnan siirtymäerosta, täyttää kaikilla kuormayhdistelmillä ehto

$$H_{\text{res}} = \sqrt{H^2 + H'^2} \leq \mu V \quad (2)$$

Jos ehto ei ole täytetty, on laakeri ankkuroitava.

Suurin sallittu kitkakerroin μ riippuu kuormayhdistelmästä ja keskimääräisestä puristusjännityksestä taulukossa 2 esitetyllä tavalla. Taulukossa annetut arvot ovat voimassa kumilevylaakerin ollessa kahden betonipinnan välissä. Jos toinen tai molemmat pinnoista ovat terästä, on sallittavan kitkakertoimen arvot pienennettävä puoleen.

TAULUKKO 2. Sallitut kitkakertoimien arvot.

Kuormayhdistelmän muodostavat kuormat	μ		
	$\sigma = 2 \text{ MN/m}^2$	$\sigma = 10 \text{ MN/m}^2$	$\sigma = 14 \text{ MN/m}^2$
Jarru-, keskipako-, sivusysäys- ja tuulikuormat	0,30	0,14	0,10
Kaikki mahdolliset kuormat	0,46	0,30	0,22
Väliarvot suoraviivaisella interpoloinnilla			

6. LASKENNASSA KÄYTETTÄVÄT ARVOT

6.1 Tässä kappaleessa esitetään voima- ja siirtymäsuureiden laskemiseksi tarvittavat kaavat sekä kertoimien ja ainevakioiden arvot.

6.2 Leikkausjännitys

6.21 Kumilevylaakeria kuormitettaessa syntyy kumilevyihin leikkausjännityksiä, joiden suuruus ei riipu ainoastaan kuormituksen suuruudesta ja kumilevyjen koosta, vaan myöskin

kumilevyjen muodosta. Leikkausjännityksillä on olennainen merkitys arvosteltaessa kumilevylaakerin kantokykyä.

Suurimmat leikkausjännitykset syntyvät laakerin ulkopinnoissa sivujen keskellä. Eri tekijöistä aiheutuvat suurimmat leikkausjännitykset voidaan laskea kaavoista (3)...(6) ja (3')...(6').

6.22 Leikkausjännitykset pystykuormasta V

$$\tau_V = \frac{k_V t |V|}{a^2 b} \quad (3) \quad \tau'_V = k'_V \tau_V \quad (3')$$

6.23 Leikkausjännitykset vaakavoimista H ja H' sekä laakerin ylä- ja alapinnan keskinäisistä siirtymäeroista u ja u'

$$\tau_H = \left| \frac{H}{ab} \pm \frac{Gu}{d} \right| \quad (4) \quad \tau'_H = \left| \frac{H'}{ab} \pm \frac{Gu'}{d} \right| \quad (4')$$

Jos H(H') ja u(u') vaikuttavat samaan suuntaan, ovat kaavoissa (4) ja (4') voimassa ylemmät merkit.

6.24 Leikkausjännitykset laakerin ylä- ja alapinnan välisistä kulmakiertymistä φ ja φ'

$$\tau_\varphi = \frac{k_\varphi a^2 G |\varphi|}{dt} \quad (5) \quad \tau'_\varphi = \frac{k'_\varphi b^2 G |\varphi'|}{dt} \quad (5')$$

6.25 Suurimmat leikkausjännitykset τ ja τ'

$$\tau = \tau_V + \tau_H + \tau_\varphi \quad (6)$$

$$\tau' = \tau'_V + \tau'_H + \tau'_\varphi \quad (6')$$

6.3 Puristusjännitys

Keskimääräinen puristusjännitys σ lasketaan lausekkeesta

$$\sigma = \frac{V}{ab} \quad (7)$$

6.4 Liukukulman tangentti

Vaakavoimista H ja H' sekä laakerin ylä- ja alapinnan keskinäisistä siirtymäeroista u ja u' kumiin syntyvien liukukulmien tangentti lasketaan lausekkeista

$$\tan \gamma = \left| \frac{H}{abG} \pm \frac{u}{d} \right| \quad (8) \quad \tan \gamma' = \left| \frac{H'}{abG} \pm \frac{u'}{d} \right| \quad (8')$$

Jos H (H') ja u (u') vaikuttavat samaan suuntaan, ovat kaavoissa (8) ja (8') voimassa ylemmät merkit.

6.5 Kokoonpuristuma

$$w = \frac{k_w (nt^3 + 2t_u^3) V}{a^3 b G} \quad (9)$$

6.6 Siirtymistä aiheutuvat vaakavoimat

Laakerin ylä- ja alapinnan keskinäisistä siirtymäeroista u ja u' aiheutuvat vaakavoimat voidaan laskea lausekkeista

$$H = \frac{ab Gu}{d} \quad (10) \quad H' = \frac{ab Gu'}{d} \quad (10')$$

6.7 Kulmakiertymistä aiheutuvat momentit

Kulmakiertymistä φ ja φ' aiheutuvat momentit voidaan laskea lausekkeista

$$M = \frac{k_M a^5 b G \varphi}{nt^3 + 2t_u^3} \quad (11)$$

$$M' = \frac{k'_M ab^5 G \varphi'}{nt^3 + 2t_u^3} \quad (11')$$

6.8 Kaavojen kertoimet

TAULUKKO 3. Kertoimien k riippuvuus sivusuhteesta a/b .

a/b	k_V	k'_V	k_φ	k'_φ	k_w	k_M	k'_M
.00	3.00	.740	.500	.000	1.00	.0167	.0000
.10	3.20	.741	.500	.104	1.07	.0168	.0007
.20	3.43	.742	.500	.192	1.14	.0157	.0022
.30	3.67	.748	.500	.266	1.23	.0151	.0041
.40	3.88	.766	.499	.326	1.34	.0146	.0088
.50	4.07	.795	.499	.371	1.46	.0141	.0073
.52	4.10	.802	.498	.379	1.48	.0140	.0076
.54	4.13	.809	.498	.386	1.51	.0139	.0078
.56	4.17	.816	.497	.393	1.54	.0138	.0081
.58	4.20	.824	.497	.400	1.57	.0137	.0083
.60	4.23	.832	.496	.406	1.60	.0136	.0086
.62	4.26	.840	.496	.411	1.63	.0135	.0088
.64	4.29	.848	.495	.417	1.66	.0134	.0090
.66	4.32	.856	.494	.422	1.69	.0133	.0092
.68	4.35	.864	.494	.427	1.72	.0132	.0094
.70	4.38	.873	.493	.431	1.76	.0131	.0096
.72	4.41	.881	.492	.435	1.79	.0130	.0098
.74	4.43	.890	.491	.439	1.83	.0129	.0099
.76	4.46	.899	.490	.443	1.87	.0128	.0101
.78	4.49	.907	.489	.446	1.90	.0127	.0102
.80	4.52	.916	.488	.450	1.94	.0126	.0104
.82	4.55	.925	.486	.453	1.98	.0125	.0105
.84	4.58	.933	.485	.456	2.02	.0124	.0107
.86	4.60	.942	.484	.458	2.06	.0123	.0108
.88	4.63	.950	.482	.461	2.10	.0122	.0109
.90	4.66	.959	.481	.463	2.15	.0121	.0111
.92	4.69	.967	.480	.466	2.19	.0120	.0112
.94	4.72	.975	.478	.468	2.23	.0119	.0113
.96	4.75	.984	.476	.470	2.28	.0118	.0114
.98	4.77	.992	.475	.471	2.32	.0117	.0115
1.00	4.80	1.000	.473	.473	2.37	.0116	.0116

Vakiokokoisille laakereille on kertoimien arvot laskettu valmiiksi ja merkitty ne näkyviin (liite 2)

6.9 Liukumoduli

Kumin liukumodulin suuruus riippuu kumin laadusta, kovuudesta, lämpötilasta sekä kuorman vaikutusajasta ja kumiaineen vanhenemisesta.

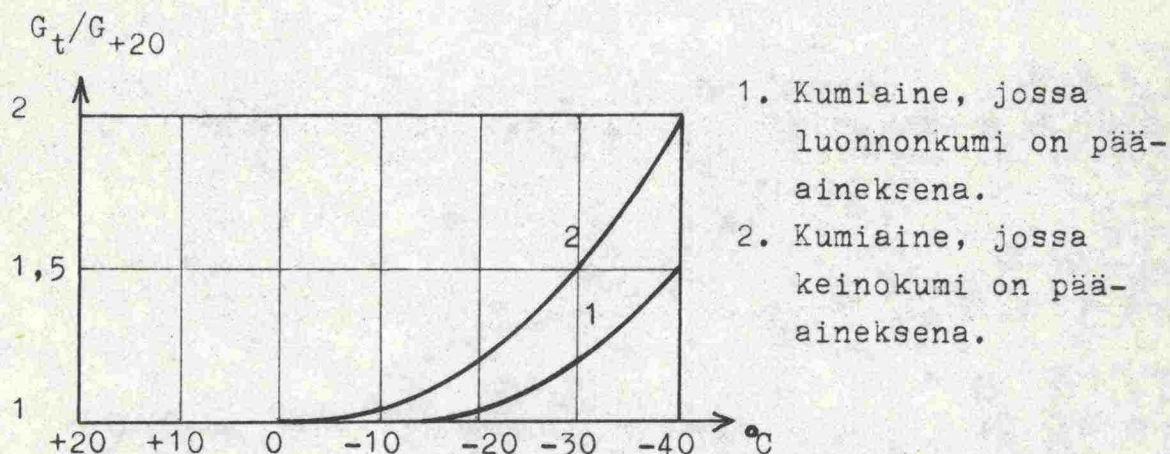
Laskettaessa leikkausjännityksiä siltojen kumilevylaakereissa liukumodulille voidaan käyttää vakioarvoa, joka on sama kuin liukumodulin arvo $+20^{\circ}\text{C}$:ssa, G_{+20} .¹⁾ Arvot on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Kumin liukumoduli leikkausjännityksiä laskettaessa

Kovuus $^{\circ}\text{IRH}$	Liukumoduli G_{+20} (N/mm^2)
50	0,7
60	1,0
70	1,6

Laskettaessa siirtymäsuureita tai laakerista siirtyviä voimia liukumodulin lämpötilan muutoksesta ja hiipumasta aiheutuvat muutokset otetaan tarvittaessa huomioon.

Kuvassa 1 esitetään keskimääräisiä lukuarvoja liukumodulin muutoksesta lämpötilan funktiona kumilevylaakereissa käytetyille kumiaineille.



Kuva 1. Kumiaineen liukumodulin keskimääräinen muutos lämpötilan funktiona. G_t = liukumoduli $t^{\circ}\text{C}$:ssa, G_{+20} = liukumoduli $+20^{\circ}\text{C}$:ssa.

1) Laskentaa on tässä yksinkertaistettu siten, ettei lämpötilan aiheuttamaa liukumodulin kasvua eikä ajan mukana tapahtuvaa hiipuman vaikutusta oteta huomioon. Leikkausjännityksessä aiheutuva pieni virhe on otettu huomioon leikkausjännityksen sallittua arvoa valittaessa.

Hiipumaluku, joka ilmaisee kumin hiipuman ja kimmoisen muodonmuutoksen suhteen, on kumiaineella jossa luonnonkumi on pääaineksena 0,1...0,2 ja kumiaineella jossa keinokumi on pääaineksena 0,3...0,5.

7. MUITA OHJEITA

- 7.1 Ulkoilman lämpötila laakereita asennettaessa otaksutaan samaksi asianomaisten normien määrittelymän päällysrakenteen valu- tai asennuslämpötilan kanssa jos todellisesta lämpötilasta ei ole tietoa.
- 7.2 Jos laakerien sijainti on sellainen, että ne voidaan tarvittaessa vaihtaa, otaksutaan niiden suunnittelussa alusrakenteen liikkumisesta johtuvaksi vaakasuoraksi liikkeeksi laakeritasolla päätytuilla laakerilinjaa vastaan kohtisuorassa suunnassa ± 10 mm. Jos vaihtomahdollisuutta ei ole, otaksutaan kyseiseksi liikkeeksi laakeritasolla päätytuilla ± 25 mm kun rakenne perustetaan hiekalle tai paaluille ja ± 10 mm muilla perustamistavoilla. Välituilla kyseiseksi liikkeeksi otaksutaan ± 5 mm.
- 7.3 Jos teräslevyn paksuus on pienempi kuin $1/5$ sisemmän kumilevyn paksuudesta, on teräslevyn jännitykset tarkastettava erikseen.
- 7.4 Laakerit on suunniteltava vaakasuoriksi, ellei erityisistä syistä muuta johdu.
- 7.5 Kumilevylaakereita voi tarvittaessa käyttää myös rinnakkain. Rinnakkaisten laakerien väliin tulee jättää riittävä (≥ 10 mm) rako kumikerrosten laajenemisen mahdollistamiseksi. Rinnakkaisten laakereiden varmuustarkastelut tulee yleensä suorittaa laakerin kummankin sivun suunnassa.
- 7.6 Kumilevylaakereita ja muita laakereita ei saa käyttää samalla tuella.

KIRJALLISUUTTA

1. Rejcha, C., "Design of Elastomer Bearings", Journal of the Prestressed Concrete Institute, Vol. 9, No. 5, Oct. 1964, s. 64...78.
2. Topaloff, B., "Gummilager für Brücken", Bauingenieur 39 (1964), H. 2, s. 50...64.
3. Sallinen, A., "Neopren-laakerit-laakereiden käyttö sekä niiden mitoitus", Sillanrakennuksen kurssi, RIL 1965.
4. Kungl. väg- och vattenbyggnadsstyrelsen, Konstruktionsbyrån, "Provisoriska anvisningar för användning av speciella lagertyper i brokonstruktioner", Publikation 5101, Beteckning K587, Nov. 1966.
5. Franz, G., "Gummilager für Brücken", VDI-Zeitschrift Bd. 101 (1959), Nr. 12, Seite 471...478.
6. Suess, K. - Grote J., "Einige Versuche an Neoprene-Lagern", Bauingenieur 38 (1963), H. 4
7. Grote, J., "Neoprenelager - einige grundsätzliche Erwägungen", Kunststoffe im Bau 7/1968.
8. Saal, G. - Saal, H., "Zur Neufassung der italienischen Vorschrift für Elastomere-Lager", Der Stahlbau 2/1973.

AINEIDEN LAATU

Kumilevylaakereihin käytettävän kumin on oltava sellaista, että se sietää pitkään ilmaston vaikutusta ja säävaihteluita sekä säilyy toimintakykyisenä vielä - 40°C:een lämpötilassa.

Kumiaineen tulee täyttää seuraavat vaatimukset:

Ominaisuus	Vaatus	Koestusmenetelmä
Kovuus ¹⁾	50,60 tai 70°IRH	SIS 162201
Liukumoduli + 20°C:ssa		ASTM D 945-59 ²⁾
- kovuus 50°IRH	0,7 ± 0,15 N/mm ²	
- kovuus 60°IRH	1,0 ± 0,20 N/mm ²	
- kovuus 70°IRH	1,6 ± 0,25 N/mm ²	
Liukumoduli - 40°C:ssa		
- Oulu-Kajaani linjan pohjoispuolella käytetyissä laakereissa	Enintään 1,50-kertainen + 20°C arvoon verrattuna	
- Oulu-Kajaani linjan eteläpuolella käytetyissä laakereissa	Enintään 2,0-kertainen + 20°C arvoon verrattuna	
Vetomurtolujuus	Vähintään 14 N/mm ²	SIS 162202
Murtovenymä	Vähintään 300 %	SIS 162202
Jäännöspuristuma + 70°C lämpötilassa	Enintään 40 %	SIS 162204
Muutokset vanhennettaessa		SIS 162205
- kovuuden muutos	Enintään 10°IRH	
- vetomurtolujuuden muutos	Enintään 25 %	
- murtovenymän muutos	Enintään 40 %	
Otsonikestävyys ³⁾ koekappaleen ollessa		SIS 162210
20 % venytyksessä, 168 h, 50 pphm:n ⁴⁾ otsonipitoisuudessa	Koekappaleeseen ei saa syntyä silmin havaittavia halkeamia	

1) Yleensä käytetään kumia, jonka kovuus on 60°IRH(International Rubber Hardness). Poikkeama ilmoitetusta nimelliskovuudesta saa olla ± 5°IRH.

2) ASTM = American Society for Testing Materials

3) Otsonikestävyysvaatus koskee ainoastaan laakerin pintakumia

4) pphm = parts per hundredmillion (sadasmiljoonasosa)

Leveys a (mm)	Pituus b (mm)	Kokonais- korkeus h (mm)	Nettokor- keus d (mm)	Sisemmät kumilevyt		Teräslevyt		k_V	k_φ	k_M
				Paksuus t(mm)	Määrä (kpl)	Paksuus t _s (mm)	Määrä (kpl)	k'_V	k'_φ k	k'_M
200	250	30	21	8	2	3	3	4,52	0,488	0,0126
		41	29	8	3	3	4	0,916	0,450	0,0104
		52	37	8	4	3	5		1,94	
200	300	30	21	8	2	3	3	4,33	0,494	0,0133
		41	29	8	3	3	4	0,859	0,424	0,0093
		52	37	8	4	3	5		1,70	
200	400	30	21	8	2	3	3	4,07	0,499	0,0141
		41	29	8	3	3	4	0,795	0,371	0,0073
		52	37	8	4	3	5		1,46	
250	400	41	29	8	3	3	4	4,27	0,496	0,0135
		52	37	8	4	3	5	0,842	0,413	0,0088
		63	45	8	5	3	6		1,64	
300	400	52	37	8	4	3	5	4,45	0,490	0,0129
		63	45	8	5	3	6	0,894	0,441	0,0100
		74	53	8	6	3	7		1,85	
		85	61	8	7	3	8			
350	400	54	38	11	3	4	4	4,62	0,483	0,0122
		69	49	11	4	4	5	0,948	0,460	0,0109
		84	60	11	5	4	6		2,09	
		99	71	11	6	4	7			

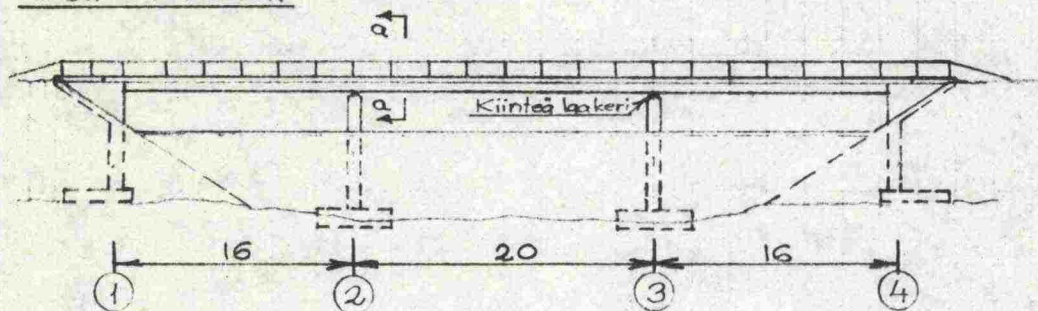
TVH/S/S

LAAKERIT
Laskuesimerkki

Aaju

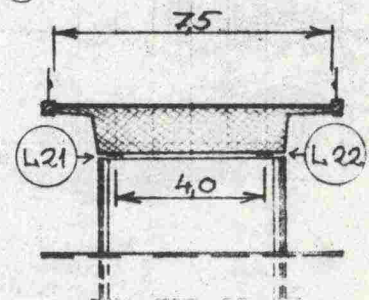
30.9.1974

1 (5)

1. Sillan mitat

Silta on 3-aukkoinen jatkuva teräs-
betoninen palkkisilta.

Tuilla ①, ② ja ④ kumilevylaakerit (2 kpl).
Tuella ③ kiinteä lyijylevylaakeri.
Tuella ④ samanlaiset laakerit kuin
tuella ①.

2. Yksiköt

Pitauudet m tai mm, voimat MN.

3. Palkin jäykkyys

Poikkileikkauksen $J = 0,75 \text{ m}^4$
Betoniin $E = 36000 \text{ MN/m}^2$
Hiipumaluku = 2

Lyhytaikaisessa kuormituksessa
 $EJ = 27000 \text{ MNm}^2$

Pitkäaikaisessa $EC = 9000 \text{ MNm}^2$

4. Kuormat

1. Pysyvä kuorma
2. Nauhakuorma/PKM
3. Akselikuorma/PKM
4. Erikoiskuorma/RKN
5. Kutistuminen
6. Lämpötilan muutos
7. Tuen siirtyminen

Tuen siirtymisessä otetaan huomioon jarrukuorman aiheuttamasta tuen 3 pilarin taipumisesta johtuva siirtymä, jonka suuruudeksi arvioidaan $\pm 8 \text{ mm}$ sillan suunnassa.

Kumilevylaakerien kuormien sillan poikkisuunnassa katsotaan olevan niin pieniä, että niitä (sivusysäys, jäänpaine, tuuli) ei oteta tarkemmin huomioon. Laakerien laskemisessa voidaan silloin rajoittua vain sillan suuntaiseen tarkasteluun.

5. Laskentamenetelmä

Tukireaktioiden ja taivutusmomenttien laskemisessa käytetään apuna teosta Zellerer, E., "Durchlaufträger. Einflusslinien und Momentenlinien", Berlin/München 1967.

6. Pysyvä kuorma

$q = 0,18 \text{ MN/m}$. Kokonaistukireaktio jakaantuu tasan kummallekin laakerille \Rightarrow kerroin 0,5.

$$A_{11} = 0,5 \cdot 0,3716 \cdot 0,18 \cdot 16 = 0,54 \text{ MN}$$

$$A_{21} = 0,5 \cdot 1,2534 \cdot 0,18 \cdot 16 = 1,80 \text{ MN}$$

$$M_{1-2}^0 = \frac{1}{8} q l_1^2 = \frac{1}{8} \cdot 0,18 \cdot 16^2 = 5,76 \text{ MNm}$$

$$M_2 = -0,284 \cdot 0,18 \cdot 16^2 = -5,9167 \text{ MNm}$$

$$\varphi_1 = \frac{q l_1^3}{24 E J} + \frac{M_2 l_1}{6 E J} = \frac{l_1}{3 E J} \cdot (M_{1-2}^0 + \frac{1}{2} M_2) = \frac{16}{3 \cdot 9000} \cdot (5,76 - \frac{1}{2} \cdot 5,9167) = 1,66 \text{ ‰}$$

$$\varphi_2 = \frac{-l_1}{3 E J} \cdot (M_{1-2}^0 + M_2) = \frac{-16}{3 \cdot 9000} \cdot (5,76 - 5,9167) = 0,09 \text{ ‰}$$

7. Nauhakuorma/PKM

$$p = 2 \cdot 0,009 = 0,018 \text{ MN/m}$$

$$e = \pm (\frac{1}{2} \cdot 7,5 - 3,0) = 0,75 \text{ m}$$

Otaksutaan, että

- palkin vääntöjäykkyys $EJ_t = \infty$.

- kaikilla tuilla on samantaiset laakerit ja yhtäläinen tuenta.

- laakeriväli on 4,0 m.

Silloin kokonaistukireaktiosta menee toiselle laakerille

$$\left(\frac{100}{2} + \frac{100 \cdot 0,75}{4,0} \right) \% = 70 \% \text{ ja toiselle } 30 \% \Rightarrow \text{kertoimet } 0,7 \text{ ja } 0,3.$$



$$A_{11} = 0,7 \cdot 0,4398 \cdot 0,018 \cdot 16 = 0,09 \text{ MN}$$

$$A_{21} = 0,7 \cdot 0,6217 \cdot 0,018 \cdot 16 = 0,13 \text{ MN}$$

$$M_{1-2}^0 = \frac{1}{8} p l_1^2 = \frac{1}{8} \cdot 0,018 \cdot 16^2 = 0,576 \text{ MNm}$$

$$M_2 = -0,0602 \cdot 0,018 \cdot 16^2 = -0,2774 \text{ MNm}$$

$$\varphi_1 = \frac{16}{3 \cdot 27000} \cdot (0,576 - \frac{1}{2} \cdot 0,2774) = 0,09 \text{ ‰}$$

$$\varphi_2 = \frac{-16}{3 \cdot 27000} \cdot (0,576 - 0,2774) = -0,06 \text{ ‰}$$



$$A_{11} = -0,7 \cdot 0,0849 \cdot 0,018 \cdot 16 = -0,02 \text{ MN}$$

$$A_{21} = 0,7 \cdot 0,7099 \cdot 0,018 \cdot 16 = 0,14 \text{ MN}$$

Aake

30.9.1974

3 (5)

$$M_2 = -0,0849 \cdot 0,018 \cdot 16^2 = -0,3912 \text{ MNm}$$

$$\varphi_1 = \frac{M_2 l_1}{6EI} = \frac{-0,3912 \cdot 16}{6 \cdot 27000} = -0,04\text{‰}$$

$$\varphi_2 = -2\varphi_1 = 0,08\text{‰}$$



$$A_{11} \approx 0$$

$$A_{21} = -0,7 \cdot 0,0783 \cdot 0,018 \cdot 16 = -0,02 \text{ MN}$$

$$M_2 = 0,0167 \cdot 0,018 \cdot 16^2 = 0,0770 \text{ MNm}$$

$$\varphi_1 = \frac{0,0770 \cdot 16}{6 \cdot 27000} = 0,01\text{‰}$$

$$\varphi_2 = -0,02\text{‰}$$

8. Vaikutusviivat

Tarvittavat vv:t ovat $vv.A_1$, $vv.A_2$, $vv.\varphi_1$ ja $vv.\varphi_2$. Näistä kaksi ensimmäistä saadaan suoraan em. iändetoksesta, kuten myös $vv.M_2$, jota tarvitaan $vv.\varphi_1$ ja $vv.\varphi_2$ in määrittämisessä.

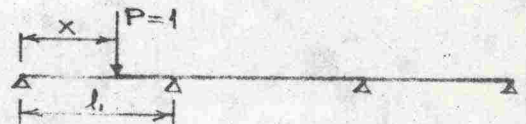
$$vv.\varphi_1 = vv.\varphi_{12}^0 + \frac{l_1}{6EI} \cdot vv.M_2$$

$$vv.\varphi_2 = -vv.\varphi_{21}^0 - \frac{l_1}{3EI} \cdot vv.M_2$$

$$vv.\varphi_{12}^0 = k_1 \left(\frac{x}{l_1} \right) \cdot \frac{l_1^2}{6EI}$$

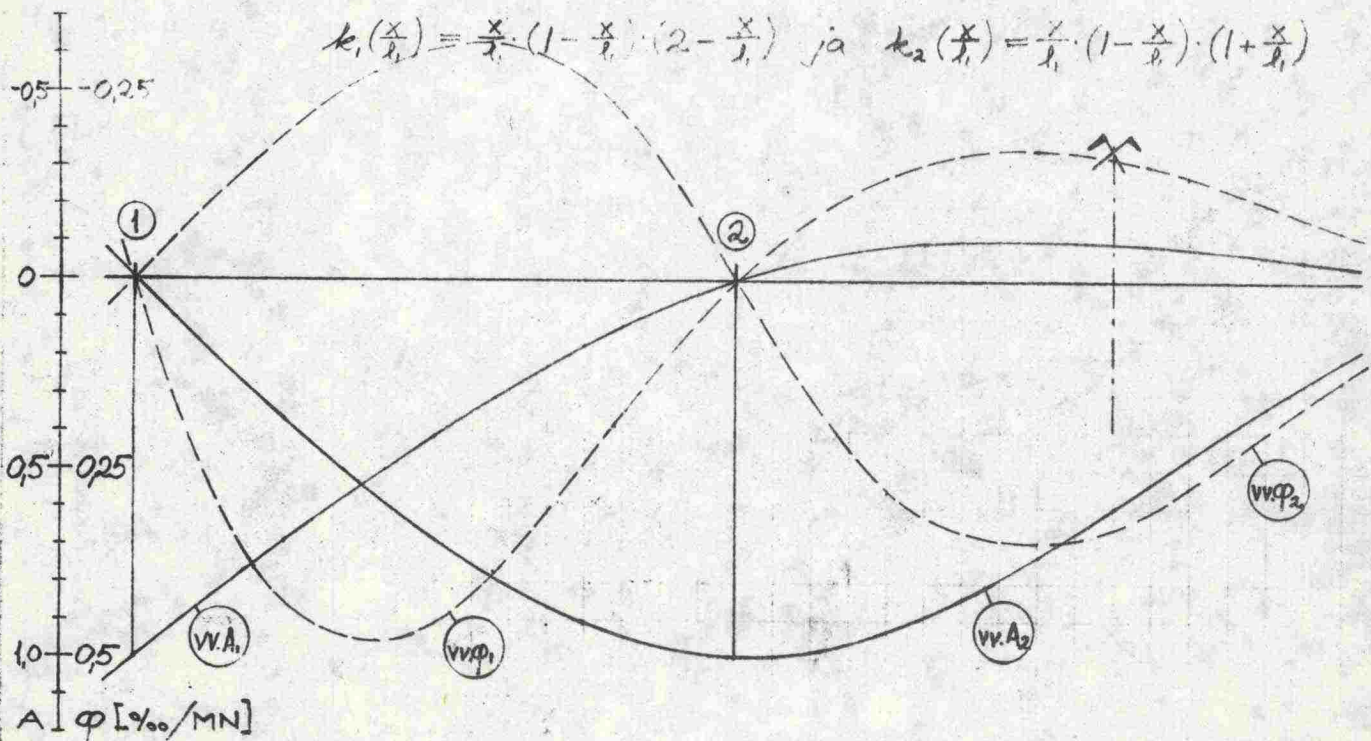
$$vv.\varphi_{21}^0 = k_2 \left(\frac{x}{l_1} \right) \cdot \frac{l_1^2}{6EI}$$

missä $0 \leq x \leq l_1$



muuten $vv.\varphi_{12}^0 = vv.\varphi_{21}^0 = 0$.

$$k_1 \left(\frac{x}{l_1} \right) = \frac{x}{l_1} \cdot \left(1 - \frac{x}{l_1} \right) \cdot \left(2 - \frac{x}{l_1} \right) \text{ ja } k_2 \left(\frac{x}{l_1} \right) = \frac{x}{l_1} \cdot \left(1 - \frac{x}{l_1} \right) \cdot \left(1 + \frac{x}{l_1} \right)$$

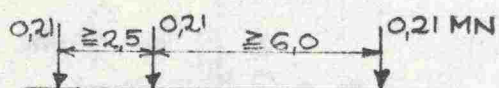


Aajr

30.9.1974

4 (5)

9. Akselikuorma/PKM



2 ryhmää

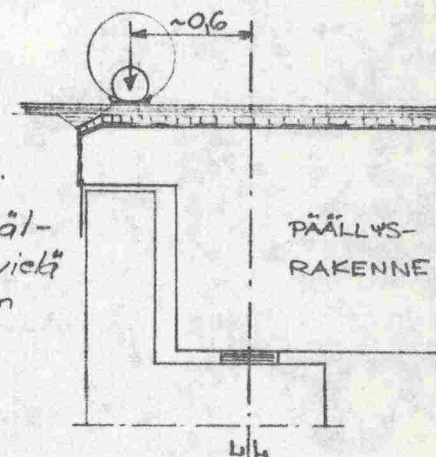
$$\max A_{II} = 0,7 \cdot 0,42 \cdot (1,05 + 0,85 + 0,42) = 0,68 \text{ MN}$$

$$\text{vast. } \varphi_1 = 0,42 \cdot (-0,03 + 0,09 + 0,46) = 0,22\%$$

$$\min A_{II} = 0,7 \cdot 0,42 \cdot (-0,09 + -0,11 - 0,08) = -0,08 \text{ MN}$$

$$\text{vast. } \varphi_1 = 0,42 \cdot (-0,145 + -0,17 - 0,125) = -0,18\%$$

Huom! Akseli kuormittaa päällysrakennetta vielä ollessaan 0,6 m laakerirajan takana.



$$\max \varphi_1 = 0,42 \cdot (0,40 + 0,475 + 0,245) = 0,47\%$$

$$\text{vast. } A_{II} = (0,3 \dots 0,7) \cdot 0,42 \cdot (0,73 + 0,55 + 0,17) = 0,18 \dots 0,43 \text{ MN}$$

$$\min \varphi_1 = -0,18\% \quad \text{Vast. } A_{II} = -0,04 \dots -0,08 \text{ MN}$$

$$\max A_{2I} = 0,7 \cdot 0,42 \cdot (0,94 + 0,99 + 0,86) = 0,82 \text{ MN}$$

$$\text{vast. } \varphi_2 = 0,42 \cdot (-0,22 - 0,04 + 0,32) = 0,03\%$$

$$\min A_{2I} = 0,7 \cdot 0,42 \cdot (-0,10 - 0,12 - 0,06) = -0,08 \text{ MN}$$

$$\text{vast. } \varphi_2 = 0,42 \cdot (-0,07 - 0,08 - 0,04) = -0,08\%$$

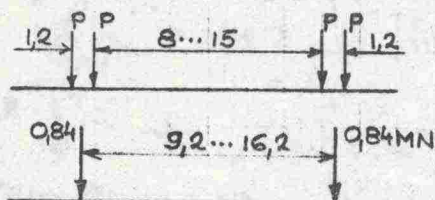
$$\max \varphi_2 = 0,42 \cdot (0,29 + 0,34 + 0,25) = 0,37\%$$

$$\text{vast. } A_{2I} = (0,3 \dots 0,7) \cdot 0,42 \cdot (0,91 + 0,79 + 0,40) = 0,26 \dots 0,62 \text{ MN}$$

$$\min \varphi_2 = 0,42 \cdot (-0,15 - 0,31 - 0,28) = -0,31\%$$

$$\text{vast. } A_{2I} = (0,3 \dots 0,7) \cdot 0,42 \cdot (0,27 + 0,75 + 0,88) = 0,24 \dots 0,56 \text{ MN}$$

10. Erikoiskuorma/RKN



$$P = 1,4 \cdot 0,30 = 0,42 \text{ MN}$$

← Laskelmissa käytettävä korvitekuorma.

Mahdollinen epäkesteisyys poikkisuunnassa $\pm(0,5 \cdot 7,5 - 2,5) = 1,25 \text{ m}$
Silloin kokonaistukireaktiosta menee toiselle laakerille

$$\left(\frac{100}{2} + \frac{100 \cdot 1,25}{4,0} \right) \% \approx 80\% \text{ ja toiselle } 20\% \Rightarrow \text{kertoimet } 0,8 \text{ ja } 0,2.$$

$$\max A_{II} = 0,8 \cdot 0,84 \cdot (1,00 + 0,34) = 0,90 \text{ MN}$$

$$\text{vast. } \varphi_1 = 0,84 \cdot (0 + 0,41) = 0,34\%$$

$$\min A_{II} = 0,8 \cdot 0,84 \cdot (-0,09 - 0,08) = -0,11 \text{ MN}$$

$$\text{vast. } \varphi_1 = 0,84 \cdot (-0,14 - 0,12) = -0,22\%$$

TVH/S/s	LAAKERIT Laskuesimerkki
<i>Aaju</i>	30.9.1974 5 (5)

$$\begin{aligned} \max \varphi_1 &= 0,84 \cdot (0,38 + 0,22) = 0,50\text{‰} \\ \text{vast. } A_{11} &= (0,2 \dots 0,8) \cdot 0,84 \cdot (0,75 + 0,15) = 0,15 \dots 0,60 \text{ MN} \\ \min \varphi_1 &= -0,22\text{‰} \quad \text{Vast. } A_{11} = -0,03 \dots -0,11 \text{ MN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \max A_{21} &= 0,8 \cdot 0,84 \cdot (0,90 + 0,89) = 1,20 \text{ MN} \\ \text{vast. } \varphi_2 &= 0,84 \cdot (-0,28 + 0,31) = 0,03\text{‰} \\ \min A_{21} &= 0,8 \cdot 0,84 \cdot (-0,09 - 0,06) = -0,10 \text{ MN} \\ \text{vast. } \varphi_2 &= 0,84 \cdot (-0,06 - 0,04) = -0,08\text{‰} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \max \varphi_2 &= 0,84 \cdot (0,31 + 0,20) = 0,43\text{‰} \\ \text{vast. } A_{21} &= (0,2 \dots 0,8) \cdot 0,84 \cdot (0,89 + 0,32) = 0,20 \dots 0,81 \text{ MN} \\ \min \varphi_2 &= 0,84 \cdot (-0,17 - 0,24) = -0,34\text{‰} \\ \text{vast. } A_{21} &= (0,2 \dots 0,8) \cdot 0,84 \cdot (0,32 + 0,93) = 0,21 \dots 0,84 \text{ MN} \end{aligned}$$

11. Kutistuminen

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= 100 \cdot 10^{-6} \quad U_{11} = +100 \cdot 10^{-6} \cdot 36 \text{ m} = +3,6 \text{ mm} \\ U_{21} &= +100 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \text{ m} = +2,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

12. Lämpötilan nousu

$$\begin{aligned} \Delta t &= +10^\circ\text{C} \quad (+10^\circ\text{C} \rightarrow +20^\circ\text{C}) \quad \therefore U_{11} = -3,6 \text{ mm} \\ U_{21} &= -2,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

13. Lämpötilan lasku

$$\begin{aligned} \Delta t &= -30^\circ\text{C} \quad (+10^\circ\text{C} \rightarrow -20^\circ\text{C}) \quad \therefore U_{11} = +10,8 \text{ mm} \\ U_{21} &= +6,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

14. Jarrukuorma

$$U_{11} = U_{21} = \pm 8 \text{ mm}$$

15. Tuen siirtyminen

$$U_{11} = U_{21} = \pm 10 \text{ mm} \quad (\text{laakerit vaihdettavissa})$$

16. Yhteenveto

Edellä lasketut voima- ja siirtymäarvot siirretään kumi-levy-laakerien laskulomakkeiden (liite 1) taulukoihin "Laakerin kuormat".

Talustyö TVH/S/S

Silta: *Esimerkkisilta*
Kunta: *Helsinki*

Proj. (TVH) 1234

KUMILEVYLAAKERIT

Lilte 1

Suunn. *Aafa*

Tark. (TVH)

Päiväys: 30.9.1974

Sivu 1 (11)

YLEISTIEDOT SILLASTA

Sillatyyppi: *3-aukkoinen jatkuva teräsbetoninen palkki-silta.*

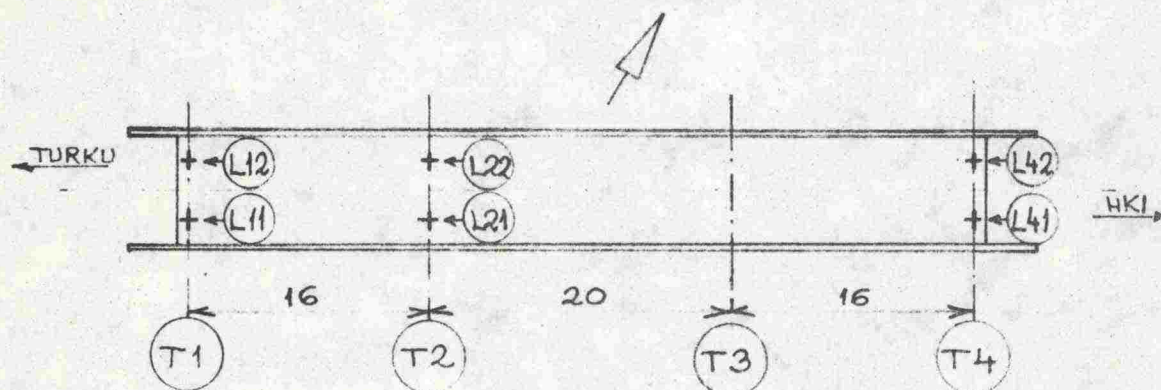
Jännemitat: *16 + 20 + 16 m*

Hyöd. leveys: *7,5 m*

Vinous: *Ogon*

SILLAN LAAKEROINTI

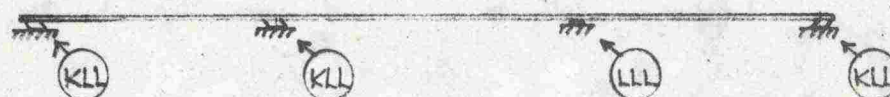
Yleiskuva päältä sekä tukien ja laakerien numerointi:



Tuella 3 kiinteä lyijylevylaakeri. Muualla 2kpl kumilevy-laakereita/tuki.

Huom! $L42 = L41 = L12 = L11$ ja $L22 = L21$.

Sivukuva sillan laakeroinnista:



KLL = kumilevylaakeri

LLL = lyijylevylaakeri

HUOM! Laakerien tilausta varten tulee tämän sivun kaksois-kappale liittää irrallisena laskelmiin mukaan.

LAAKERIN KUORMAT

Sijalla **Esimerkkisilta**

IPo(TVH) 1234

KUMILEVYLAAKERIT

Liite 1

Tuki 1 Laakeri 11

Sivu 2 (11)

RIVI	Kuorman nimi	V [MN]	H []	H' []	u [mm]	u' []	1000 φ	1000 φ
1	Pysyvä kuorma	0,54					1,66	
2	Nauhak./PKM kent. 1	0,09					0,09	
3	--- 2	-0,02					-0,04	
4	--- 3	0					0,01	
5	Akselik./PKM asento 1	0,68					0,22	
6	--- 2	-0,08					-0,18	
7	--- 3	0,18					0,47	
8	--- 4	0,43					0,47	
9	--- 5	-0,04					-0,18	
10	Erik.k./RKN asento 1	0,90					0,34	
11	--- 2	-0,11					-0,22	
12	--- 3	0,15					0,50	
13	--- 4	0,60					0,50	
14	--- 5	-0,03					-0,22	
15	Kutistuminen				+ 3,6			
16	Lämpötilan nousu				- 3,6			
17	--- lasku				+ 10,8			
18	Jarrukuorma				± 8,0			
19	Tuen siirtyminen				± 10,0			
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
(ΣV) _{max} ; (ΣH) _{max} ; ($\Sigma H'$) _{max jne}		1,44			22,4 ^u		2,23	
(ΣV) _{min} ; (ΣH) _{min} ; ($\Sigma H'$) _{min jne}		0,43			-11,6 ^u		1,44	

HUOMAUTUKSIA: ^u ilman tuen siirtymää.

TIEDOT LAAKERISTA

Sij: *Esimerkkisilta*

no (IV) 1234

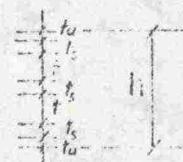
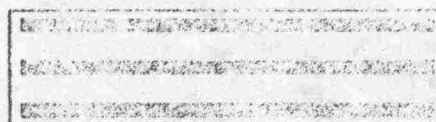
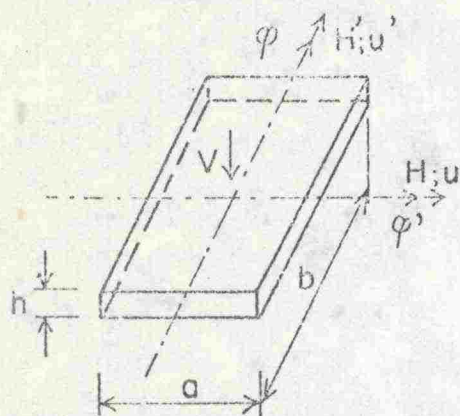
KUNNILEVYLAAKERIT

Lin: 1

Tuki 1 Laakeri 11

Seri 3 (11)

Kumilaine	Ulkomitat	Levyjen mitot	Nettokorkeus
G + 20°C:ssä: 1,0 N/mm ²	a = 300 mm	t = 8 mm	n = 4
G - 40°C:ssä: ≤ 2,0 N/mm ²	b = 400 mm	t ₀ = 2,5 mm	d = 37 mm
Kovuus: 60 °IRH	h = 52 mm	t _s = 3 mm	d/a = 0,12 (sall. 0,1-0,2)
	h = d + (n-1)t _s	Nettokorkeus	d = nt + 2t _s



HUOMAUTUKSIA: *Vakiokokoinen laakeri.*

Laakeri linjan Oulu-Kajaani ^{etelä-} ~~pohjois-~~ puolella.

ASKENNAKSA KÄYTETTÄVÄT KERTOIMET

k_v	k_v'	k_φ	k_φ'	k_w	
4,45	—	0,490	—	1,85	
$p_v = \frac{k_v t}{a}$	$p_v' = k_v' p_v$	$p_\varphi = \frac{k_\varphi a^2}{dt}$	$p_\varphi' = \frac{k_\varphi' b^2}{dt}$	$p_w = k_w \left(1 + \frac{2t_u^3}{nt^3} \right) \frac{nt^2}{a^2}$	
0,119	—	149	—	0,0053	

HUOM! Laakerien tilausta varten tulee tämän sivun kaksios-
kappale liittää irrallisena laskelmien mukaan.

JÄNNITYSTARKASTELU

Säiliö: **Esimerkkisilta**

Nro (TVH) **1234**

KUMILEVYLAAKERIT

Liite **1**

Tuki **1**

Luokki **11**

Siv. **4 (11)**

Rivi	$\tau_v = \frac{p_v V}{ab}$	$\tau_H = \frac{H}{ab} + \frac{G_u}{d}$	$\tau_\varphi = p_\varphi G_\varphi$	$\tau = \tau_v + \tau_H + \tau_\varphi$	$\tau'_v = \frac{p'_v V}{ab}$	$\tau'_H = \frac{H'}{ab} + \frac{G'_u}{d}$	$\tau'_\varphi = p'_\varphi G_\varphi$	$\tau' = \tau'_v + \tau'_H + \tau'_\varphi$	$\sigma = \frac{V}{ab}$
1	0,54		0,25						4,50
2	0,09		0,01						0,15
3	-0,02		-0,01						-0,17
4	0		0						0
5	0,68		0,03						5,67
6	-0,08		-0,03						-0,67
7	0,18		0,07						1,50
8	0,43		0,07						3,58
9	-0,04		-0,03						-0,33
10	0,89		0,05						7,50
11	-0,11		-0,03						-0,92
12	0,15		0,07						1,25
13	0,60		0,07						5,00
14	-0,03		-0,03						-0,25
15		+ 0,10							
16		- 0,10							
17		+ 0,29							
18		± 0,22							
19		± 0,27							
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
$ \Sigma \tau_v _{\max}; (\Sigma \sigma)_{\max}$	1,43	0,88	0,30	2,61					12,0
$ \Sigma \tau_v _{\max}; (\Sigma \sigma)_{\min}$	1,43	0,88	0,30	2,61					3,6
$ \Sigma \tau_\varphi _{\max}$	1,06	0,88	0,33	2,27					
SALL. JÄNNITYS (dimensio MN/m^2)				3,5					12,0

MUODONMUUTOSTARKASTELU

Sijainti: **Esimerkkisilta**

N:o (TVII) **1234**

KUMILEVYLAAKERIT

Liite **1**

Tuki **1**

Lockeri **11**

Sivu **5 (11)**

Rivi	KOKOONPURISTUMATARKASTELU					SIIRTYMATARKASTELU	
	$w =$	$w_{\varphi} =$				$\tan \gamma =$	$\tan \gamma^2 =$
	$\frac{p_w V_f}{abG}$	$\frac{a\varphi + b\varphi^3}{6}$	$\frac{a\varphi - b\varphi^3}{6}$	$\frac{-a\varphi + b\varphi^3}{6}$	$\frac{-a\varphi - b\varphi^3}{6}$	$\frac{H}{abG} + \frac{u}{d}$	$\frac{H^3}{abG} + \frac{u^3}{d}$
1	0,19	0,08			-0,08		
2	0,03	0			0		
3	-0,01	0			0		
4	0	0			0		
5	0,24	0,01			-0,01		
6	-0,03	-0,01			0,01		
7	0,06	0,02			-0,02		
8	0,15	0,02			-0,02		
9	-0,01	-0,01			0,01		
10	0,32	0,02			-0,02		
11	-0,04	-0,01			0,01		
12	0,05	0,03			-0,03		
13	0,21	0,03			-0,03		
14	-0,01	-0,01			0,01		
15						0,10	
16						-0,10	
17						0,29	
18						$\pm 0,22$	
19						$\pm 0,27$	
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
$(\Sigma w)_{\min}, (\Sigma \tan \gamma)_{\min}$	0,15	0,07				0,61	
$(\Sigma w)_{\max}, (\Sigma \tan \gamma)_{\max}$	0,24	0,11				(0,88)	()
SALLITTU		$\Sigma w_{\varphi} \leq \Sigma w$				0,7 (1,0)	

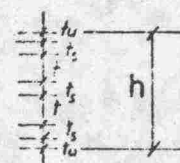
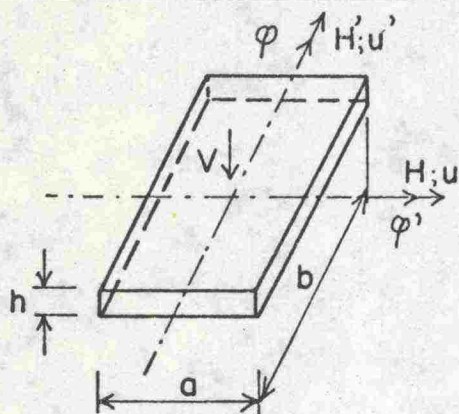
LIUKUVARMIUUSTARKASTELU				Siltä: Esimerkkisilta		No(TVM) 1234
				KUMILEVYLAAKERIT		Liite 1
				Tuki 1 Laakeri 11		Sivu 6 (11)
Rivi	$H_a = H + \frac{abGu}{d}$	$H_b = H' + \frac{abGu'}{d}$	$H_{res} = \sqrt{H_a^2 + H_b^2}$	$\epsilon = \frac{V}{ab}$	μ	$\frac{H_{res}}{\mu \epsilon ab}$
1				4,50		
2				0,75		
3				- 0,17		
4				0		
5				5,67		
6				- 0,67		
7				1,50		
8				3,58		
9				- 0,33		
10				7,50		
11				- 0,92		
12				1,25		
13				5,00		
14				- 0,25		
15	0,012					
16	- 0,012					
17	0,035					
18	± 0,026					
19	± 0,032					
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
$ \Sigma H_{a} _{max}$	0,105		0,105	3,58	0,43	0,57
$ \Sigma H_{b} _{max}$						
$(\Sigma \epsilon)_{min}$	0,105		0,105	3,58	0,43	0,57
SALLITTU ARVO						≤ 1

LAAKERIN KUORMAT			Silta: Esimerkkisilta KUMILEVYLAAKERIT				No(TVH) 1234	
			Tuki 2		Laakeri 21		Liite 1	Sivu 7 (11)
Rivi	Kuorman nimi	V. [MN]	H []	H' []	u [mm]	u' []	1000 ϕ	1000 ϕ
1	Pysyvä kuorma	1,80					0,09	
2	Nauhak./PKM kent. 1	0,13					-0,06	
3	--- -- 2	0,14					0,08	
4	--- -- 3	-0,02					-0,02	
5	Akselik./PKM asento 1	0,82					0,02	
6	--- -- 2	-0,08					-0,08	
7	--- -- 3	0,26					0,37	
8	--- -- 4	0,62					0,37	
9	--- -- 5	0,24					-0,31	
10	--- -- 6	0,56					-0,31	
11	Erik.k./RKN asento 1	1,20					0,03	
12	--- -- 2	-0,10					-0,08	
13	--- -- 3	0,20					0,43	
14	--- -- 4	0,81					0,43	
15	--- -- 5	0,21					-0,34	
16	--- -- 6	0,84					-0,34	
17	Kutistuminen				2,0			
18	Lämpötilan nousu				-2,0			
19	--- -- lasku				6,0			
20	Jarrukuorma				$\pm 8,0$			
21	Tuen siirtyminen				$\pm 10,0$			
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
$(\Sigma V)_{\max}; (\Sigma H)_{\max}; (\Sigma H')_{\max}$ jne		3,00			16,0"		0,54	
$(\Sigma V)_{\min}; (\Sigma H)_{\min}; (\Sigma H')_{\min}$ jne		1,70			-10,0"		-0,30	

HUOMAUTUKSIA: //lman tuen siirtymää.

TIEDOT LAAKERISTA	Silta: <i>Esimerkkisilta</i>	N:o (TVH) 1234
	KUMILEVYLAAKERIT	Liite 1
	Tuki 2	Sivu 8 (11)
	Laakeri 21	

Kumiaine	Ulkomitat	Levyjen mitat	Nettokorkeus
G + 20°C:ssa: 1,0 N/mm ²	a = 400 mm	t = 11 mm	n = 4
G - 40°C:ssa: ≤ 2,0 N/mm ²	b = 550 mm	t _u = 2,5 mm	d = 49 mm
Kovuus: 60 °IRH	h = 69 mm	t _s = 4 mm	d/a = 0,12 (sall. 0,1...0,2)
	h = d + (n+1)t _s		Nettokorkeus d = nt + 2t _u



HUOMAUTUKSIA: *Erikoislaakeri.*

Laakeri linjan Oulu-Kajaani ^{etelä-}~~perheis~~ puolella.

LASKENNASSA KÄYTETTÄVÄT KERTOIMET

k_v	k_v'	k_φ	k_φ'	k_w	X
4,42	—	0,492	—	1,80	
$p_v = \frac{k_v t}{a}$	$p_v' = k_v' p_v$	$p_\varphi = \frac{k_\varphi a^2}{d t}$	$p_\varphi' = \frac{k_\varphi' b^2}{d t}$	$p_w = k_w \left(1 + \frac{2 t_u^3}{n t^3}\right) \frac{n t^2}{a^2}$	
0,122	—	146	—	0,0055	

HUOM! Laakerien tilausta varten tulee tämän sivun kaksois-kappale liittää irrallisena laskelmien mukaan.

JÄNNITYSTARKASTELU				Silta: <i>Esimerkkisilta</i> KUMILEVYLAAKERIT				No (TVH) 1234	
				Tuki 2		Laakeri 21		Liite 1	
								Sivu 9 (11)	
Rivi	$\tau_v = \frac{p_v V}{ab}$	$\tau_H = \frac{H + \overline{G_u}}{ab \cdot d}$	$\tau_\varphi = p_\varphi \overline{G_\varphi}$	$\tau = \tau_v + \tau_H + \tau_\varphi$	$\tau'_v = k'_v \tau_v$	$\tau'_H = \frac{H' + \overline{G_u'}}{ab \cdot d}$	$\tau'_\varphi = p'_\varphi \overline{G'_\varphi}$	$\tau' = \tau'_v + \tau'_H + \tau'_\varphi$	$\sigma = \frac{V}{ab}$
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
$ \Sigma \tau_v _{\max}; (\Sigma \sigma)_{\max}$	$\leq 1,66$								13,6
$ \Sigma \tau_H _{\max}; (\Sigma \sigma)_{\min}$		$\leq 0,53$		$< 2,3$					7,7
$ \Sigma \tau_\varphi _{\max}$			$\leq 0,08$						
SALL. JÄNNITYS (dimensio MN/m ²)				3,5					14,0

MUODONMUUTOSTARKASTELU

Silta: **Esimerkkisilta**

No (IVH) **1234**

KUMILEVYLAAKERIT

Liite **1**

Tuki **2**

Laakeri **21**

Sivu **10 (11)**

Rivi	KOKOONPURISTUMATARKASTELU					SIIRTYMÄTARKASTELU	
	$w =$	$w_{\varphi} =$				$\tan \gamma =$	$\tan \gamma' =$
	$\frac{p_v V t}{abG}$	$\frac{a\varphi + b\varphi'}{6}$	$\frac{a\varphi - b\varphi'}{6}$	$\frac{-a\varphi + b\varphi'}{6}$	$\frac{-a\varphi - b\varphi'}{6}$	$\frac{H}{abG} + \frac{u}{d}$	$\frac{H'}{abG} + \frac{u'}{d}$
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
$(\Sigma w)_{\min}, (\Sigma \tan \gamma)_{\max} > 0,46$		$< 0,04$				0,33	
$(\Sigma w_{\varphi})_{\max}, (\Sigma \tan \gamma)_{\max}$						(0,53)	()
SAI LITTU		$\Sigma w_{\max} \leq \Sigma w$				0,7	(1,0)

